

# 미래의 지능형 건설현장 구현을 위한 건설정보기술 및 정보통신 하드웨어 기술소개

글 | 권순욱 | 성균관대학교 건축공학과 교수 | 전화 031-299-4765 E-mail : swkwon@skku.edu

국가 전산업에 걸쳐서 일고 있는 유비쿼터스 바람은 건설산업계에도 건설경영과 현장관리 측면에서 기존의 관리방식에 많은 변화를 가져오고 있다. 특히 최근 몇 년 동안에 걸쳐서 건설 프로젝트 관리 생애주기단계에서 발생하는 프로젝트 정보의 효율적인 처리 측면에 있어서는 실시간으로 현장 정보를 얻을 수 있는 기술들이 많이 개발 및 적용되어 오고 있다. 이러한 기술의 발전은 종이와 펜을 이용하여 정보를 수집한 후 이를 컴퓨터에 입력하고 보고하던 방식에서, PDA(Personal Digital Assistant)나 Tablet PC, UMPC 등 컴퓨터와 펜을 가지고 현장에서 정보를 수집하고 관리하는 방식으로 발전하게 되었으며 거기에서 더욱 발전하여 현장 곳곳에 설치된 다양한 센서와 무선 네트워크를 통해 실시간으로 다양한 현장정보를 수집하며 관리하는 방식으로 현장관리 방식과 건설사업관리 환경을 변화시키고 있다. 백텔, 플로어 같은 선진 건설사들은 이러한 무선 네트워크 기술과 무선 센싱 기술, 그리고 데이터 커뮤니케이션 기술의 현장 적용성을 계속해서 검토해오고 있다. 다른 한편으로는 PLM(Project Lifecycle Management)에 대한 개념이 BIM(Building Information Model)의 중요성 대두와 함께 새롭게 현장에서 관심을 갖기 시작하고 있다. 이러한 첨단 정보기술 및 센싱기술의 도입 및 활용에 의해 건설 기술자들은 지식과 정보를 실시간으로 이용할 수 있게 되어 시공의 정확성과 공기향상을 가져올 계기를 마련하게 될 것이며 그러한 적용사례를 통하여 현장의 지능화(Intelligent Job Site)를 앞당길 것으로 본다.

## 1 유비쿼터스 컴퓨팅

최근 첨단 기술 분야인 IT분야에서는 산학연 구분할 것 없이 현재 ‘유비쿼터스 컴퓨팅’ 관련 연구 및 제품개발에 많은 비용과 시간을 투자하고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅은 센서, 프로세서, 컴퓨팅이 결합되어 컴퓨팅 기능의 내재성 강화와 컴퓨터의 이동성을 제고하여 필요한 곳에서 컴퓨팅을 구현할 수 있도록 하는 것이다. 광의의 의미로는 “다양한 종류의 컴퓨터가 사람, 사물, 환경속에 내재되어 있고, 이들이 서로 연결되어 필요한 곳에서 컴퓨팅을 구현할 수 있는 환경을 만드는 것”을 의미한다. 유비쿼터스 컴퓨팅이 지향하는 모습은 기존의 방식인 인간이 컴퓨터를 위해 센싱 및 인터페이스 기능을 제공해 주는 방식에서 벗어나 컴퓨터가 필요한 정보를 센싱하고 사용자에게 맞게 인터페이스를 제공하는 것을 의미한다.

유비쿼터스 컴퓨팅은 컴퓨터 기능의 내재성 (Embedded) 또는 이동성 (Mobility) 으로 구현 가능하며 내재성은 초소형 컴퓨팅 디바이스를 사물이나 환경에 내재하여 정보를 획득 활용하는 것을 의미하며 움직이는 곳마다 컴퓨팅이 존재하는 것을 의미한다. 이러한

유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하기 위해서는 센서, 프로세서, 커뮤니케이션, 인터페이스, 그리고 보안의 5가지의 핵심기술이 필요하다. 그 중 주변 환경변화를 인지하기 위해서는 센서, 프로세서, 커뮤니케이션 등 세 가지 기술이 결합되어야 하며 사람과 자연스러운 커뮤니케이션을 위해서는 인터페이스 및 보안기술이 필요하다. 센서, 프로세서 및 커뮤니케이션기술에 대해 간단히 설명하면, 센서는 외부의 환경 변화를 감지하는 유비쿼터스 컴퓨팅의 입력장치로써 시각, 청각, 빛, 온도, 냄새 등 물리적 화학적 에너지를 전기신호로 변환 수동형과 능동형으로 나눌 수 있으며, 프로세서는 센서를 통해 얻은 데이터를 분석하고 판단하는 장치로 간단한 OS (operating System) 구조를 가지고 있어야 하고 실시간 처리가 가능하여야 한다. 또한 커뮤니케이션을 수행하기 위해서는 사물과 사물, 사물과 인간을 무선으로 연결하는 WPAN (Wireless Personnel Area Network) 기술, 시시각각 위치가 변하는 사물들을 동적으로 연결하기 위한 에드혹 (Ad-hoc) 네트워크 기술이 필요하다. 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 대표하는 기술은 USN (Ubiquitous Sensor Networks)와 RFID기술이며 그 내용은 다음과 같다.



문에 배터리를 활용하게 되어서 한정된 에너지를 가지게 된다. 또한 각 센서 노드들은 제한적이고 소규모의 연산 처리 능력만을 가지고 있다. 뿐만 아니라 무선 센서 네트워크는 기존의 셀룰라 통신망과는 달리 특정 인프라 구조가 없이 각 센서 노드들이 에드혹(ad-hoc)의 형태로서 구성되어 통신을 하게 된다. 이러한 에드혹 환경으로 인해 센서 노드 간에 전송되는 데이터가 외부에 쉽게 노출되거나 변조될 위험이 존재한다. 이와 같은 무선 센서 네트워크 고유의 특성으로 인해 전력 소모를 최소화하는 MAC 프로토콜, 기존의 주소 기반의 라우팅이 아닌 데이터 질의에 기반 한 라우팅 프로토콜 보안성을 강화하기 위한 키 분배 기법 등과 관련해서 폭넓은 연구가 활발히 진행되고 있다.

주목할 만한 사실은 최근에는 현재의 컴퓨터 시대를 이끌고 있는 인텔에서도 건설 분야의 USN기술과 관련된 여러 연구에 참여하고 있다는 점이다. 세계 IT시장을 주도 하고 있는 인텔은 건설시장에서의 공급사슬관리와 유지관리에 활용될 Smart Chip 분야에 있어서의 활용성 및 시장성 분석을 통하여 그 가능성을 예측하고 그러한 시장가능성에 입각하여 현장 적용성 테스트에 적극적으로 참여하고 있다.

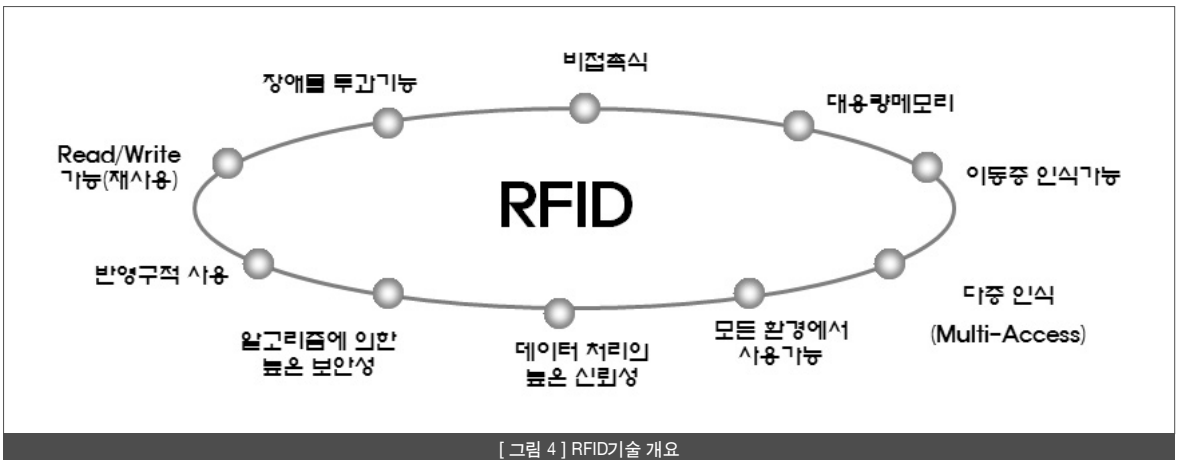
그 밖에도 센서 기술의 발전에 힘입어 자동차의 에어백의 가동을 위해 주변상황을 감지할 수 있도록 활용하고 있는 소형 센서인 반도체 기반의 MEMS (micro Electro Mechanical System)기술을 활용하여 콘크리트 및 철골구조물의 거동계측에 응용하고 있다. 초기 단계에서는 콘크리트의 양생온도 측정에 의한 강도분석의 용도로 사용되었으나 현재에는 철근, 콘크리트, 철골 등의 변형률을 상시

계측할 수 있는 무선기반의 센서모듈들이 개발되고 있다.

### 3 RFID 기술

RFID란 마이크로칩을 내장하여 RF(Radio Frequency, 주파수변조) 방식으로 안테나와 교신을 통하여 근거리, 원거리에서 읽고 쓰기가 가능한 무선인식기술을 적용한 인식표 (memory label)를 일컫는다. RFID의 시스템은 다음 [그림 4]와 같이 크게 안테나가 포함된 판독기, 무선자원을 송/수신할 수 있는 안테나(Antenna), 정보를 저장하고 프로토콜로 데이터를 교환하는 태그(Tag), 서버(Server) 및 네트워크(Network) 등으로 구성된다. 각 부분의 기능으로는 판독기는 RFID 태그에 읽기와 쓰기가 가능하도록 하는 장치이고, 안테나는 정의된 주파수와 프로토콜로 태그에 저장된 데이터를 교환하도록 구성되는 장치이며, 태그는 데이터를 저장하는 RFID의 핵심 기능을 담당한다.

RFID 태그는 전원 공급의 유무에 따라 전원을 필요로 하는 능동형(Active)과 내부나 외부로부터 직접적인 전원의 공급 없이 판독기의 전자기장에 의해 작동되는 수동형(Passive)으로 구분된다. 전자 는 판독기의 필요 전력을 줄이고 판독기와의 인식거리를 멀리 할 수 있는 장점이 있으나, 전원 공급 장치를 필요로 하기 때문에 작동 시간의 제한을 받으며 수동형 타입에 비해 고가인 단점이 있다. 반면, 후자는 능동형에 비해 매우 가볍고, 가격도 저렴하면서 반영구적으로 사용이 가능하지만, 인식거리가 짧고 판독기에서 더 많은 전력을 소모한다는 단점이 있다. 또한 사용 주파수에 따라 태그의 특성이 매우 상이하게 나타나기 때문에 주파수를 이용하여 태그를



〈표 1〉 RFID 타입에 따른 특성

주파수	저주파	고주파		초고주파	마이크로파
	125,135kHz	13,56MHz	433,92MHz	860~960MHz	2,45GHz
인식거리	60cm 미만	60cm 까지	~50, ~100m	~3.5m, ~10m	~1m 이내
일반특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>비교적 고가</li> <li>환경에 의한 성능 저하가 거의 없음 (금속에 부착시에도 작동)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>저주파보다 저가</li> <li>짧은 인식거리</li> <li>다중태그 인식이 필요한 응용분야에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>긴 인식거리</li> <li>실시간 추적 및 컨테이너 내부 습도, 충격 등 환경 센싱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IC 기술 발달로 가장 저가로 생산 가능</li> <li>다중태그 인식거리와 성능이 가장 뛰어나</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>900대역 태그와 유사한 특성</li> <li>환경에 대한 영향이 가장 많이 받음 (차폐물이 있는 경우 인식 불가)</li> </ul>
동작방식	수동형	수동형	능동형	능동/수동형	능동/수동형
적용분야	<ul style="list-style-type: none"> <li>공정 자동화</li> <li>출입통제/보안</li> <li>동물관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대여물품 관리</li> <li>교통카드</li> <li>출입통제/보안</li> <li>수하물 관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>컨테이너 관리</li> <li>실시간 위치 추적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공급망 관리</li> <li>자동통행료징수</li> <li>유통물류분야</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>위조방지</li> <li>자동차운행 흐름 모니터링</li> <li>톨게이트시스템</li> </ul>
인식속도	저속 <-----> 고속				
환경영향	강인 <-----> 민감				

구분하기도 한다. 주로 사용되는 주파수 대역은 125.134KHz, 13.56MHz, 433MHz, 860~960MHz, 2.45GHz대역이 있다 (〈표 1〉참조). 최근 2000년에 접어들어서 RFID 기술은 교통, 자재관리 및 보안에 적용되고 있다. 또한 현재 농업, 건설 및 스포츠 등에 RFID 기술이 다양하게 활용되고 있으며, 그 응용분야로는 다음 (〈표 2〉)와 같다.

#### 4 건설산업에서의 RFID 기술의 활용

국내의 경우 몇몇 건설사가 RFID 기술의 이전 단계인 바코드(Barcode) 기술을 적용하여 노무 및 자재(레미콘)관리 시스템을 구축, 약 41억원의 직·간접 비용효과와 1개월 정도의 공기가 단축된 것으로 나타났다. 즉, 바코드 시스템보다 진보된 기술인 RFID 시스템을 적용하여 관리할 경우 그 이상의 기대효과가 달성될 것으로 예견되는 바이다. 그 밖에 성균관대학교 e-CM 연구실 및 한국건설기술연구원에서는 건설자재 및 인원관리 관련 연구를 수행한 바 있다. 미국의 경우 카네기 멜론 대학(Carnegie Mellon University)에서 RFID를 이용한 프리캐스트 콘크리트(PC) 부재를 중심으로 자재관리 시스템을 제시하였다. RFID의 총 투자비용은 \$178,000 (7,120의 작업시간과 상응)이지만, 자재를 파악하기 위해 소요되는 실제 작업시간을 절반으로 단축시킬 수 있었다. 또한, 연간 자재 조달의 지연으로 발생하는 부가비용은 1개 제작업체를 기준으로 연간 \$60,000에 달하는 것으로 나타나 자재의 적시 조달로 나타나는 부가적인 비용 절감은 상당할 것으로 추정되고 있다.

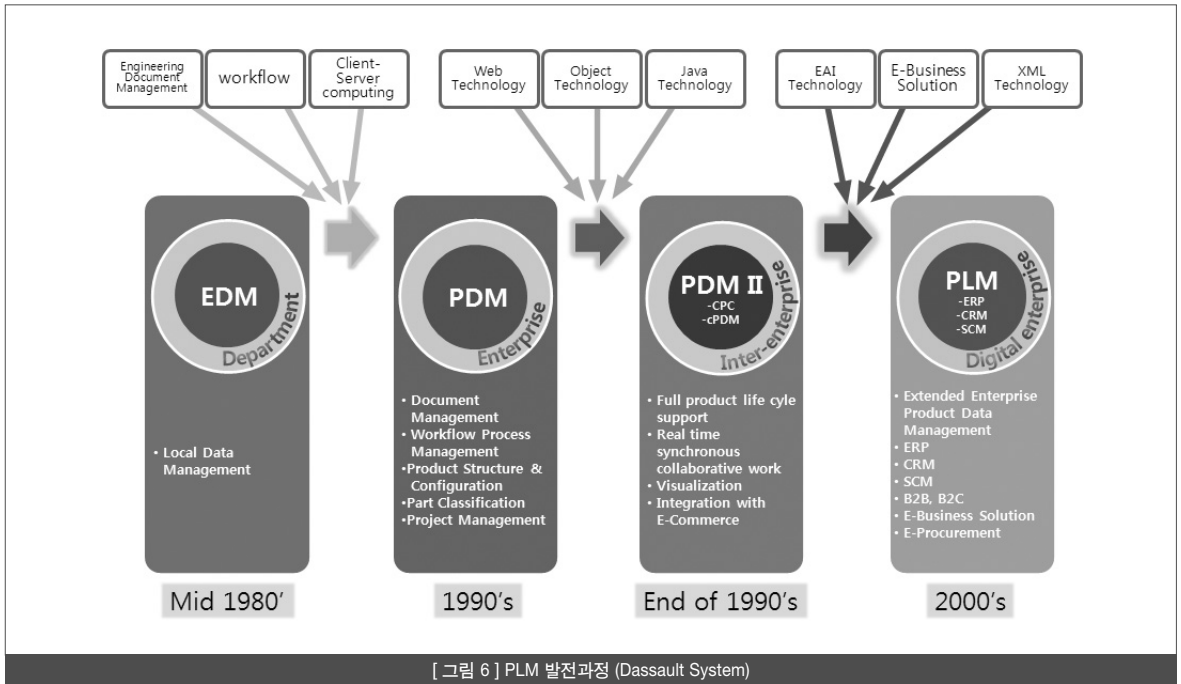
벡텔(Bechtel)사의 Red Hills 건설공사를 대상으로 미국 텍사스대



[그림 5] RFID 기술을 이용한 레미콘 관리 (두울테크)

〈표 2〉 외국의 RFID 기술 적용

적용분야	분야별 적용 기술
교통	<ul style="list-style-type: none"> <li>철도 차량 관리, 교통 관리</li> <li>통행료 징수, 자동 지불 시스템 (엑손 모빌사)</li> </ul>
제조	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차·컴퓨터 하드웨어 제작시 작업 흐름 추적 관리</li> <li>제품 유지관리에 적용</li> </ul>
농업	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업·축산업: 농산물 및 가축의 추적 (CCIP; Canadian Cattle Identification Program, 2001)</li> </ul>
공항 보안 및 수하물 취급	<ul style="list-style-type: none"> <li>여행용 가방의 분류 및 승객의 추적</li> <li>여행자·여행용 가방의 이력의 상세 기록 (색스빌 국제공항, 2001)</li> </ul>
교통 및 보안	<ul style="list-style-type: none"> <li>공항 주변 보안에 RFID 시스템 적용 (Parker, 2002).</li> <li>군부대 출입 자동차 출입허가 (조지아주 포트 맥퍼스 군부대, 2002)</li> </ul>
공급망 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>질렛트사의 재고 관리</li> <li>IBM사의 재고 관리, 연간 5~25%로 재고량을 감소</li> </ul>
의료	<ul style="list-style-type: none"> <li>환자 관리 및 면회 제한</li> <li>신생아의 유괴 위험 방지 및 모자(母子) 확인</li> </ul>
건설	<ul style="list-style-type: none"> <li>압축가스 실린더 추적, 작은 공구 관리, 장치 모니터링 (CI, 2001),</li> <li>자재 조달 및 관리 추적 시스템 개발</li> <li>유도장치 탑재 장비의 제어</li> <li>콘크리트 및 철골 부재의 피로 또는 초과 응력 탐지</li> </ul>



[ 그림 6 ] PLM 발전과정 (Dassault System)

학교 내의 건설산업연구원 (CI) 이 실시한 현장 실험에서 파이프 스푼(Spool), 서포트(support) 및 행거(hanger) 같은 자재의 위치 파악 및 추적 관리에 30%(159분/100행거)의 작업시간의 단축 효과가 있다고 제시하였다 [그림 6]. 이외에 압축가스 실린더의 추적, 소규모의 작업 공구 위치 파악 및 관리, 건설장비의 모니터링에 시험적으로 적용한 사례가 있으며, 시설물 유지관리에서도 콘크리트 및 철골 부재의 피로 또는 초과 응력을 탐지하는데 적용가능성 검토를 추진 중에 있다. 국내에서는 성균관대학교, 한국건설기술연구원, 한국건설관리학회에서 RFID를 이용한 공급사슬 및 현장관리 관련 연구를 수행하고 있다.

## 5 PLM(Project Life Cycle Management)

PLM이라는 연구영역은 다음과 같은 역사를 가지고 있다. PLM에 대한 영역은 설계와 엔지니어링의 두 부분을 모두 포함한다. 제조업에 있어서 1960년대 초반부터 90년대 후반까지는 지오메트리를 기반으로한 CAD시스템에 의한 설계방법의 개선이 주요 목적이었다. 80년대에 주로 시작되었던 PLM의 연구분야가 ‘What’이라는 측면에서 ‘How’ 그리고 ‘Why’ 라는 측면으로의 인식전환이다. 그래서 논의되었던 분야가 단순한 지오메트리 모델링 기반의

설계에서 파라메타 값들을 가지고 설계할 수 있는 파라메트릭 모델링과 규칙을 바탕으로한 룰기반의 설계방법 및 지식 기반의 설계방법론 등이 연구적용되기 시작했으며 1990년대에는 PC와 워크스테이션이라는 대용량 처리가 유용한 컴퓨터가 존재하였으며 거기에 따라서 데이터 처리량에 따른 CAD 시스템의 제품도 차별화 되기 시작하였다.

1990년대에 접어들어서는 프로덕트 즉 제품의 각 단계별로의 결과물에 의존한 프로덕트 기반의 데이터 및 정보관리에 초점이 맞춰진 시스템 개발이 이전 상황이었다면 90년대의 핵심 사항은 프로세스에 입각한 문제해결에 있었으며 거기에 따른 모델링 방법론, 시뮬레이션 방법론, 비즈니스 프로세스 리엔지니어링 등이 PLM의 중요 이슈가 되며 제품개발을 위한 연구가 진행되기 시작하였다. 가장 중요한 90년대 PLM 연구개발의 문제점은 시스템 통합, 정보통합관리 등 통합의 문제였던 것으로 보인다.

2000년대에 들어와서는 소프트웨어 개발 업체 및 관련 연구기관에서 전략적으로 통합시스템 개발에 관한 문제 해결을 위해서 전략적으로 대처하기 시작하였으며 이전까지의 관점이 PDM (Product Data Modeling) 기반의 각 단위 결과물 중심의 시스템 개발에 있었다면 2000년대 이후부터는 진정한 의미의 PLM 개념과 PDM 개념과 프로세스에 입각한 생애주기 개념의 도입에 대한 연

구개발이 본격적으로 시작된 시점이라고 할 수 있다. 그리고 모든 시스템 회사들 소프트웨어 업체들이 PLM을 지원하는 소프트웨어를 보급하기 시작하고 있다. 현재 제기되고 있는 문제들은 개방형 데이터 호환 문제, 지식의 재활용 문제, 조직의 변혁에 관한 문제가 주요 이슈가 되고 있으며 건설산업의 PLM의 도입도 이와 같은 길을 걷고 있다. 이제 PMIS도 ERP와 같이 통합되어 운영될 수 있는 시기가 다가오고 있으며 PLM도 결국 BIM(Building Information Modeling) 정보와 함께 기존 PMIS와 ERP시스템과의 효과적인 연동이 가장 필요한 시점이 온 것으로 보인다.

## 6 BIM(Building Information Modeling)

과거에는 CAD시스템을 설계도를 그리는 작업을 대신하는 도구로 여겨왔다. 그리고 이러한 CAD시스템은 선과 곡선 그리고 부호들과 같은 요소를 활용하여 2D 평면을 생산하는 데 초점을 맞추고 있었다. 과거의 CAD시스템에서의 벽은 단지 평행한 몇 개의 선으로 표현될 뿐이다.

그 후에 CAD시스템과 레이어 개념은 CAD시스템을 한단계 발전시켰다. 선, 곡선 그리고 부호들과 같은 단순한 요소에 의미를 부여하기 위해 관련된 요소끼리 그룹화하는 레이어라는 개념이 도입된 것이다. 레이어라는 개념하에 벽을 구성하는 선들을 묶어 '벽 레이어'라고 나타내었고 기둥을 구성하는 선들을 묶어 '기둥 레이어'라고 나타내어 서로 다른 종류의 부재들을 각각 조정할 수 있게 하였다. 이렇게 함으로서 CAD시스템을 이용하여 분리된 2D도면을 생성할 수 있었지만, 정보는 더욱 혼란스러워 졌다. 예를 들어 구성요소들은 구분되어져 있지만 구성요소들 간의 관계는 나타내지 못하였다.

초기의 3D CAD는 전적으로 시각화를 돕기 위해 지오메트리를 생성하는 데 초점을 두고 등장하였으며 그 후 사실적인 렌더링과 조명의 효과를 구현하는 것을 중심으로 발전하였다.

가장 최근에 등장한 객체지향 CAD시스템에서는 일반적인 건물의 요소(보, 기둥, 벽 등)를 대표하는 객체들이 2D 심볼을 대체하고 있다. 객체지향 CAD시스템에서는 객체들을 다양한 각도에서 볼 수 있으며, 시각적이지 않은 요소까지도 객체로 정의할 수 있다.

다양한 속성을 갖고 여러 규칙들이 할당될 수 있는 파라메트릭 3D 지오메트리는 객체를 지능적으로 만드는 요소로서 각광받고 있다. 파라메트릭 3D CAD시스템은 객체간의 복잡한 기하학적 관계나 기능적인 관계를 정의해 준다. 예를 들어 벽체는 단순한 8개의 선의 모임이 아닌 높이를 갖고 서로 교차하는 벽체를 구분할 수 있게

되었다. 이런 모델에서의 객체는 실제 부재의 성질을 가진 객체이며 방화계수(Fire Rating) 혹은 단열계수(Insulation Value) 등과 같이 관련된 정보를 가질 수 있다. 문과 창문은 벽체와 관련된 객체로서 벽체라는 객체내에 문과 창문이 생성되며 그와 함께 움직인다. 더 중요한 개념은 물리적인 건물의 요소간의 관계에 의해 정의되는 공간과 같은 추상적인 객체이다. 이런 추상적인 객체는 방의 번호 혹은 방의 이름과 같이 구분되기도 한다. 이러한 지능적인 행위들은 과거의 CAD에서는 불가능한 일이었다.

건물은 정보의 집합체라는 개념이 BIM을 정의하는 출발점이라고 할 수 있다. 결국 시공 시뮬레이션, 에너지 시뮬레이션, 구조해석, 부하계산을 위해서 우리는 필요한 정보를 2D 도면으로 작성된 설계도서 때문에 컴퓨터로 자동으로 할 수 없으며 이러한 정보의 재생성 및 추가작업으로 인한 막대한 손실이 발생하고 있는 것이 현실이다. 이러한 문제들을 해결해 줄 수 있는 것이 BIM이다.

## 7 결 어

최근의 건설산업은 수요자의 요구가 다양화되면서 시설물이 첨단화, 복잡화 및 고급화되어 가는 추세이며 이에 대한 기술력의 확보가 경쟁력의 관건이 되고 있으며 단순시공 위주에서 분야별 전문화와 통합을 기반으로 한 기획, 설계, 시공, 유지관리 등 각 단계별 종합적인 부가가치 창출 및 효율 극대화가 요구되고 있다. 국내 건설시장은 축소되고 있으며 건설시장 개방에 따라 선진국의 기술력과, 자금력 기반의 운용능력 및 저임금 기반의 개발도상국 업체의 시장 영입이 예상되고 있다. 해외시장에서도 이러한 개발도상국과 선진국의 도전은 더욱 거세지고 있다. 이제 더 이상 저가의 다량 수주로는 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보하기 어려워지고 있다.

따라서 국내 건설산업은 기술력을 바탕으로 한 고부가가치 창출이 건설업계의 경쟁력 확보를 위한 지상 목표라 할 수 있다. 최근 들어서 시공 및 건설관리를 포함하는 건설산업 전반에서는 건설정보화 및 하드웨어 기술을 통합된 형태를 보여주고 있는 U-건설(Ubiquitous construction)에 대한 관심이 높아지고 있다. U-건설은 미래 사회 인프라 도시, 시설을 기획, 설계, 시공, 유지관리 하는 u-City 관련 기술, 현장지능화를 위한 첨단건설 시공 기술, 시공 후 첨단유지관리 기술을 포함한다. 이러한 기술의 저변에는 기존 첨단 기술과의 융·복합이 수반된다. 기 개발되어졌거나 혁신적인 건설 기술 발전을 위해서 필요한 기술들을 건설에 맞게 접목시켜야 하는 것이다. 그러한 U-건설현장을 위한 핵심기술들이 본고에 소개한 기술들이 될 것이라고 생각한다. S